

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГИМНАЗИЯ № 5 Г.БРЕСТА»**

**Районная конференция учащихся
(конкурс работ исследовательского характера)
«Дети. Творчество. Интеллект»**

Секция «Физика и астрономия»

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
РЯДОВ ЧАСОВЫХ ЗЕНИТНЫХ ЧИСЕЛ
МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ
ГЕМЕНИДЫ И КВАДРАНТИДЫ
В 1990-2019 гг**

Авторы:
БОГДАН Алексей Сергеевич
11 класс ГУО «Гимназия № 5 г.Бреста»
ВОРОНЦОВ Георгий
10 класс ГУО «Гимназия № 5 г.Бреста»

Руководитель
ЕВТУШЕНКО Константин Юрьевич
ГУО «Гимназия № 5 г.Бреста»

г.Брест 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Сокращения и терминология	3
Введение.....	4
Глава 1. Статистические характеристики метеорных потоков	6
1.1. Метеорные потоки Гемениды и Квадрантиды	6
1.2 Регулярный ход зенитных чисел	6
1.3 Характеристики этапов регулярного хода значений ZHR.....	9
Глава 2. Статистические аномалии в рядах ZHR	11
2.1 Общее количество аномалий	11
2.2 Распределение аномалий в регулярном ходе	11
2.3 Аномалии по годам за период исследования	13
Заключение	15
Список использованных источников	16
Приложения	17

СОКРАЩЕНИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

ZHR – часовое зенитное число - расчётная величина, характеризующая активность метеорного потока и показывающая, сколько метеоров в час смог бы увидеть наблюдатель, если бы его предельная видимая звёздная величина равнялась теоретической ($6,5^m$), при расположении радианта потока в зените (прямо над головой) [1]

ММО (ИМО) – Международная Метеорная организация

СА – среднее арифметическое ряда величин.

СКО (σ) – среднеквадратичное отклонение, вычисленное как оценка стандартного отклонения на основании несмещённой оценки дисперсии.

QUA – Квадрантиды, метеорный поток

GEM – Гемениды, метеорный поток

Метеор – это оптическое явление, которое возникает при сгорании множества мелких метеоритных тел в атмосфере Земли. Метеоры могут объединяться в группы – тогда такая группа называется метеорной или просто **метеорный поток**.

Область небесной сферы, которая визуально выглядит как источник метеорного потока, называется **радиантом**.

По созвездию, в котором находится радиант, метеорные потоки получают названия.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования природоведения в широком смысле слова – одна из важнейших задач современной науки. Значение современных знаний об окружающем мире в XXI веке не менее важно, чем в XV или XIX. А в связи с новыми, открывающимися благодаря передовым технологиям возможностями познания мира может быть даже более важно и ценно.

Человечество все чаще обращает свой взор в космос: полеты на МКС стали обыденным делом, выход человека в открытый космос – тривиальное событие. Всё конкретнее планы полета на Марс и повторения высадки на Луну. Исследования космоса приобрели особую актуальность в связи с проектами по освоению околоземного пространства.

Одним из направлений астрономических исследований является новое прочтение давно известных астрономических событий, применение к изучению таких явлений новых, ранее не применявшихся методов.

В нашей работе «Статистические характеристики рядов часовых зенитных чисел метеорного потока Персеиды» (2019) были применены методы математической статистики к рядам зенитных чисел метеорного потока Персеиды. Выявленные закономерности нашли признание в виде присуждения указанной работе диплома I степени на Республиканском конкурсе научно-исследовательских работ учащихся (Минск, 2020).

Целью настоящей работы является выявление статистических особенностей в рядах часовых зенитных чисел (ZHR) метеорных потоков Гемениды и Квадрантиды.

Выбор этих потоков обусловлен двумя факторами. Оба они проходят в зимнее время (Гемениды в первой половине декабря, а Квадрантиды с конца декабря до 11 января) и период наблюдения за ними практически одинаков: их регулярный ход по данным Международной Метеорной Организации составляет 15 суток.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи: сбор и систематизация первичных данных; расчёт основных статистических показателей для рядов ZHR; выявление некоторых особенностей в рядах ZHR Персеид; исследование статистических выбросов (аномальных значений) в рядах ZHR Персеид.

Объектом исследования являются ежедневные данные о часовых зенитных числах метеорного потока Гемениды с 04 декабря по 18 декабря и метеорного потока Квадрантиды с 28 декабря по 11 января за 1989-2019 гг. Источником первичных данных являются сведения ММО [1].

Всего получено для QUA 280 значений ZHR, для GEM – 348.

Предмет исследования:

- средние и максимальные суточные значения ZHR с учетом ошибок наблюдения;
- однородность рядов значений ZHR;
- статистические выбросы (аномальности) в рядах значений ZHR;

Методика исследования. Первичные ежедневные данные аккумулируются в таблицы по датам для каждого года с 1989 по 2019. При наличии единственного значения ZHR максимальным Z^{\max} на дату принимается это значение, увеличенное на ошибку (погрешность) наблюдения, минимальным Z^{\min} – это значение, уменьшенное на ошибку (погрешность) наблюдения. При наличии нескольких значений ZHR максимальным Z^{\max} на дату принимается наибольшее значение ZHR, увеличенное на ошибку (погрешность) наблюдения, минимальным Z^{\min} – наименьшее значение, уменьшенное на ошибку (погрешность) наблюдения. Ежедневные средние максимальные Z^{\max} и средние минимальные Z^{\min} значения вычисляются как СА между соответствующими значениями, среднее значение ZHR $Z_{\text{ср}}$ вычисляется как СА между средним максимальным и средним минимальным значением ZHR на эту дату. СКО σ ряда значений ZHR на каждую дату по каждому типу вычисленных величин вычисляется как результат оценки стандартного отклонения. Наибольшие и наименьшие значения ZHR – ежедневные абсолютные максимальные и минимальные значения из Z^{\max} и Z^{\min} соответственно за все годы наблюдений 1989-2019.

Проверяется однородность частей рядов по критерию Стьюдента, выявляются аппроксимирующие функции каждой из однородных частей рядов ZHR. Для каждой однородной части ряда выявляются некоторые важные характеристики.

С учетом исследования аномалий всего для одного метеорного потока, в работе используется критерий аномальности по условию $\Delta Z \geq/\leq \pm\sigma$ (сигма-критерий) и $\Delta Z \geq/\leq \pm 2\sigma$ (два-сигма критерий), где ΔZ – отклонение ZHR от вычисленной нормы $Z_{\text{ср}}$, а σ – вычисленное за тот же период СКО ряда ZHR данных суток. Первый критерий выделяет крупные, второй – очень крупные выбросы (аномалии).

Результатами исследования являются уникальные статистические данные о метеорных потоках за 1990-2019 годы. Предложенная методика основана на принципах статистического анализа случайных величин и использует методику выявления аномальностей, приведенную в работе [2].

Важной составной частью исследования является проверка предположения о наличии статистически однородных частей в рядах часовых зенитных чисел метеорных потоков.

ГЛАВА 1. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ

1.1. Метеорные потоки Гемениды и Квадрантиды

Геминиды это один из самых мощных метеорных потоков в году. Метеоры Геминид отличаются белым цветом и большой яркостью, часто порождают болиды. Поток летит не навстречу Земле, а догоняет её, потому что скорость метеоров невысокая (около 35 км/с). Период действия Геминид продолжается примерно с 7 по 17 декабря. Впервые их заметили в Англии и США в 1862м году. [3]

Радиант потока Гемениды (рисунок 1) находится в созвездии Близнецов вблизи звезды Кастор (α Близнецов).

Квадрантиды – метеорный поток, радиант которого лежит в созвездии Волопаса, около границы с созвездиями Геркулеса и Дракона (рисунок 2). Пик метеорного потока приходится на 3 января, а обычные пределы - с 1 по 6 января. Узкий поток метеоров не связан с какой-либо из известных комет, а возникающий звездный дождь очень непостоянен, так что его пик длится недолго. Название относится к тем временам, когда эта область неба принадлежала созвездию Стенного Квадранта (Quadrans Muralis), теперь уже не существующему. [3]



Рис. 2. Радиант метеорного потока Гемениды [4]



Рис. 2. Радиант метеорного потока Квадрантиды [5]

1.2 Регулярный ход зенитных чисел

На рисунке 3 представлен регулярный ход чисел ZHR потоков Гемениды (а) и Квадрантиды (б).

Обращает на себя внимание различие в регулярном ходе рядов зенитных чисел.

У GEM максимум потока смещен на вторую треть и присутствует достаточно продолжительный (почти 1/2 времени сезонного хода) предварительный этап незначительных значений ZHR. Рост значений чисел ZHR продолжается 4 дня. Затухание потока происходит достаточно быстро (3-4 дня).

У QUA распределение значений ZHR более равномерное: предварительный этап 4 дня, резкий рост – 3 дня, плавное затухание 4 дня и такой же продолжительности период остаточных явлений метеоров.

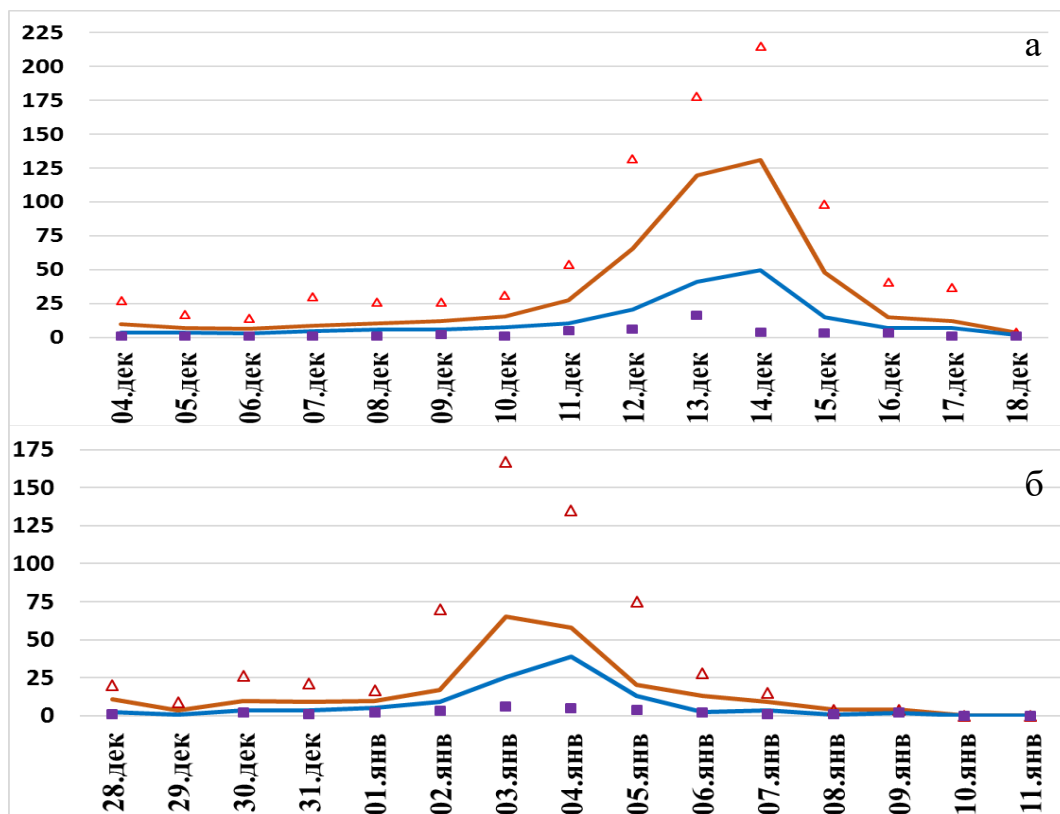


Рис. 3. Регулярный ход зенитных часовых чисел метеорных потоков Гемениды (а) и Квадрантиды (б) в 1989–2019 гг

— - средние максимальные суточные значения
 — - средние минимальные суточные значения
 ▲ – абсолютные суточные максимумы, ■ – абсолютные суточные минимумы

На основании анализа метеорных потоков предлагается следующая авторская терминология для этапов регулярного хода метеорного потока:

- I. Предпотоковый этап - предварительные незначительные явления метеоров;
- II. Всплеск - этап резкого роста значений ZHR;
- III. Затухание – этап резкого снижения значений ZHR;
- IV. Постпотоковый - остаточные единичные явления метеоров.

В таблице 1 приведены числовые характеристики продолжительности этапов регулярного хода чисел ZHR обоих потоков.

Таблица 1. Структура регулярного хода чисел ZHR

Этап	GEM	QUA
Продолжительность всего периода, дни	15	15
Предпотоковый, дни (доля)	7 (46%)	4 (27%)
Всплеск, дни (доля)	4 (27%)	3 (19%)
Затухание, дни (доля)	4 (27%)	4 (27%)
Постпотоковый, дни (доля)	0 -	4 (27%)

Для сравнения интересно привести структуру регулярного хода метеорного потока Персеиды: предварительный этап 18 дней (42%), рост до максимума – 9 дней (23%), плавный спад – 12 дней (27%), остаточные явления – 4 дня (9%). Как видно, структура регулярного хода Персеид является практически СА соответствующих частей регулярного хода GEM и QUA.

На рисунке 4 приведен регулярный ход СКО метеорных потоков.

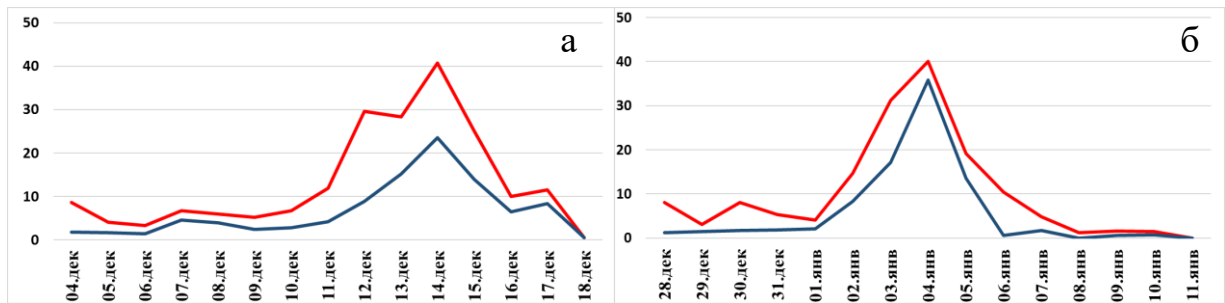


Рис. 4. СКО σ зенитных часовых чисел метеорных потоков Гемениды (а) и Квадрантиды (б) в 1989 – 2019 гг

— - средние σ максимальных ZHR — - средние σ минимальных ZHR

Максимумы СКО приходятся на даты максимумов значений ZHR и практически совпадают между собой для Z^{\max} (41 для GEM и 40 для QUA). СКО минимальных чисел ZHR отличаются как значениями, так и регулярным ходом. Максимум СКО для Z^{\min} равен 24 у GEM и 36 у QUA.

Достаточно большие значения СКО обусловлены большим количеством наблюдателей, осуществлявших наблюдения в различных климатических и погодных условиях.

В таблице 2 приведены характеристики рядов ZHR.

Видно, что показатели ZHR для GEM больше соответствующих показателей для QUA. При этом их СКО составляют меньшую долю от СА соответствующих значений.

Таблица 2. Статистические характеристики рядов ZHR

показатель	GEM	QUA
Среднее значение Z^{\max} , ед/час	33	16
СКО Z^{\max} (доля от СА, %)	13 (39)	10 (62)
Среднее значение Z^{\min} , ед/час	12	8
СКО Z^{\min} (доля от СА, %)	7 (58)	6 (75)
Среднее наибольших ZHR, ед/час	62	40
Среднее наименьших ZHR, ед/час	3	2
Абсолютный максимум ZHR, ед/час	215	167
Среднее суточное ZHR, ед/час	23	12

Абсолютные максимумы отмечены 14 декабря 2015 г. для GEM (215) и 3 января 2013 г. для QUA (167). Медианное значение максимальных наблюдаемых ZHR в дни максимумов составляет 138 для GEM и 66 для QUA.

1.3 Характеристики этапов регулярного хода значений ZHR

В потоке GEM выделены три этапа регулярного хода значений ZHR (отсутствует постпотоковый этап), для QUA – все четыре этапа.

Для каждой из частей получены линии трендов (уравнения аппроксимации). Таблица уравнений аппроксимаций по этапам метеорных потоков приведена в Приложении 1.

В таблице 3 приведены старшие коэффициенты уравнений аппроксимации рядов значений ZHR. Видно, что на I этапе метеорные потоки возрастают примерно одинаково ($k_{\text{рег}} = 0,83$ и $0,79$). На I-II этапах метеорный поток QUA возрастает быстрее, чем GEM, в основном за счет более высокой скорости роста наибольших ZHR (скорость их роста для QUA больше в 2,2 раза скорости роста для GEM). Коэффициенты регрессии у потока QUA несколько больше на втором этапе и меньше в 1,72 раза на третьем-четвертом (для GEM только третьем) этапах. Значит, медленнее проходя этап всплеска, QUA быстрее проходят этап затухания. Проверена однородность этапов рядов значений ZHR между собой для Z^{max} , Z^{min} , наибольших и наименьших ZHR критерием Стюдента. Выявлена однородность на I этапе ($p < 0.01$) и на этапах II и III ($p < 0.05$).

Таблица 3. Старшие коэффициенты аппроксимации метеорных потоков

Этап, тип аппроксимации	GEM	QUA
I, линейная	0,83	0,79
I – II, полином 2-й степени	1,875	3,34
II, линейная	26	28,9
III, (III-IV для QUA), полином 2-й степени	3	1,74

На рисунке 5 представлены графики значений ZHR метеорных потоков на этапах II и III и их аппроксимации полиномами второй степени. Видно, что в максимуме потока дельты (разности) графиков между собой у GEM практически одинаковы, в то время как для QUA дельта между абсолютными суточными максимумами и средними максимальными значениями ZHR более чем в двое превосходит сумму всех остальных дельта для этого потока.

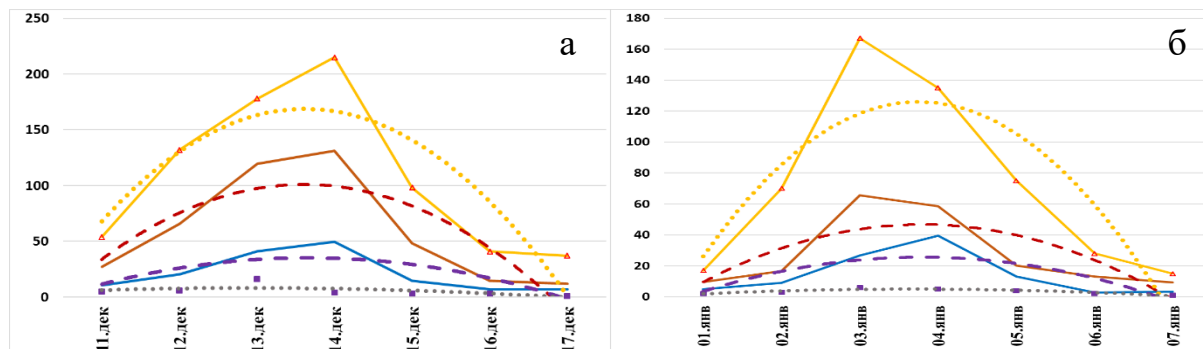


Рис. 5. Ход зенитных часовых чисел метеорных потоков Гемениды (а) и Квадрантиды (б) и их аппроксимации на II-III этапах

средние суточные значения: —■— — максимальные —■— — минимальные
 —▲— — абсолютные суточные максимумы, —■— — абсолютные суточные минимумы

Это говорит о том, что индивидуальные наблюдатели на максимуме метеорного потока QUA указывают очень высокие показатели значений ZHR. В этот период у потока QUA наблюдается большое количество аномально высоких значений ZHR.

ГЛАВА 2. СТАТИСТИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ В РЯДАХ ZHR

2.1 Общее количество аномалий

Проверка на наличие выбросов (аномальностей) по выбранным σ и 2σ -критериям дала следующие результаты.

Общее количество аномальностей в потоке GEM 78, что составляет 22% от общей выборки значений ZHR. Из них удовлетворяют 2σ -критерию 13 (3,7%), то есть 65 аномалии носят незначительный характер.

Общее количество аномальностей в потоке QUA 44, что составляет 15,7% от общей выборки значений ZHR. Очень крупных аномалий, удовлетворяющих условиям 2σ -критерия, выявлено всего 6 (2,1%).

Все выявленные очень крупные аномалии с положительным знаком ($+2\sigma$ -аномалии). Очень крупных аномалий с отрицательным знаком не выявлено. Это обусловлено очень большим СКО в рядах зенитных чисел.

При нормальном распределении вне аномалий должно попадать 68,27% всех значений ZHR [2]. И для потока GEM, и для QUA этот показатель соблюдается, то есть количество аномалий находится в пределах нормы. Количество 2σ -аномалий не должно превышать 4,55%, то есть односторонних аномалий должно быть не более 2,27%. Если рассматривать отсутствие « -2σ -аномалий» как одностороннее распределение, то 3,7% очень крупных аномалий для GEM выходит за пределы нормы. Для QUA этот показатель находится в пределах нормы (2,1%).

2.2 Распределение аномалий в регулярном ходе

Распределение выбросов по периодам и потокам рассматриваемых рядов приведено в таблице 2.

Таблица 4. Количество и частота аномалий по этапам метеорного потока

Показатель	Поток	I	II	III	IV
Кол-во $+ \sigma$ аномалий	GEM	16	17	11	
	QUA	7	5	7	3
Частота $+ \sigma$ аномалий, день ⁻¹	GEM	2,29	4,25	2,75	
	QUA	1,75	1,67	1,75	0,75
Кол-во $+ 2\sigma$ аномалий	GEM	7	4	2	
	QUA	1	2	2	1
Частота $+ 2\sigma$ аномалий, день ⁻¹	GEM	1,0	1,0	0,5	
	QUA	0,25	0,67	0,5	0,25
Кол-во $- \sigma$ аномалий	GEM	10	18	6	
	QUA	2	7	9	4
Частота $- \sigma$ аномалий, день ⁻¹	GEM	1,43	4,50	1,50	
	QUA	0,50	2,33	2,25	1,00
Общее количество аномалий	GEM	26	35	17	
	QUA	9	12	16	7
Общая частота аномалий, день ⁻¹	GEM	3,71	8,75	4,25	
	QUA	2,25	4,00	4,00	1,75

Из-за отсутствия в потоке GEM выраженного постпотокового этапа и большего общего количества аномалий частота выбросов в этом потоке по этапам в среднем выше, чем у QUA. Наибольшая частота σ -аномалий у GEM на этапе всплеска, наименьшая у QUA на постпотоковом этапе.

Ход выбросов по датам регулярного хода приведен на рисунке 6.

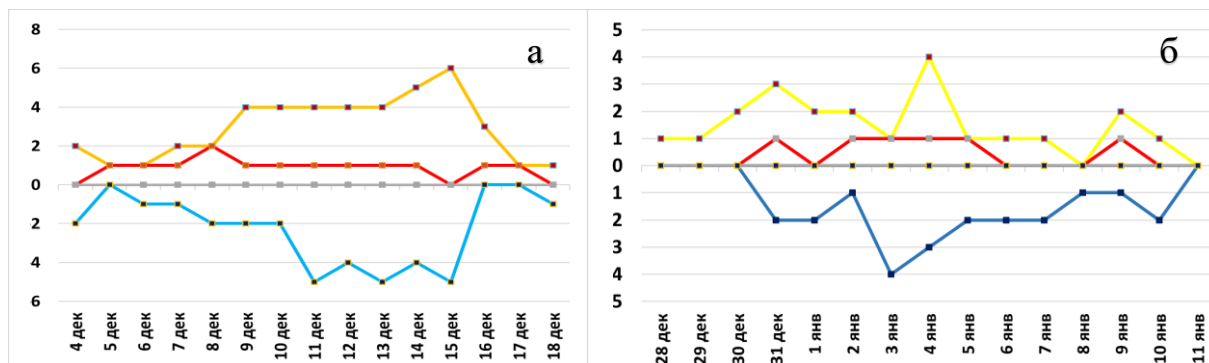


Рис. 6. Ход числа аномалий зенитных часовых чисел метеорных потоков Гемениды (а) и Квадрантиды (б) (двунаправленная ось)

— (+ σ)-критерий — (+2 σ)-критерий — (- σ)-критерий — (-2 σ)-критерий

Наибольшее количество выбросов приходится на 15 декабря для GEM (11 аномалий) и на 3-4 января для QUA (8 аномалий).

Можно выделить период с 11 декабря по 15 декабря для GEM, когда отмечается стабильно высокое количество «- σ »-аномалий каждый день (4-5). Аналогичный период для QUA с 3 по 7 января, число «- σ »-аномалий каждый день (2-4).

Для потока GEM можно отметить 8 декабря - единственный день, когда произошло два случая +2 σ -аномалий, а 15 декабря – ни одного очень крупного выброса значений. Для потока QUA очень крупные аномалии происходят со 2 по 5 января, 31 декабря и 9 января (всегда по 1 случаю).

На рисунке 7 представлен регулярный ход частоты случаев аномалий зенитных часовых чисел их аппроксимации.

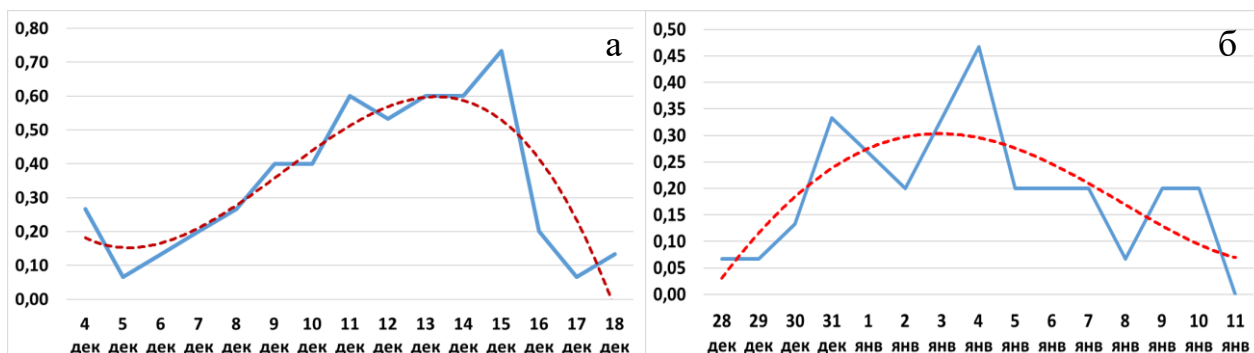


Рис. 7. Ход частоты (год⁻¹) аномалий зенитных часовых чисел и их аппроксимации для метеорных потоков Гемениды (а) и Квадрантиды (б)

Частоты потоков варьируются от 0,07 день⁻¹ до 0,73 день⁻¹ для GEM и от 0,07 день⁻¹ до 0,47 день⁻¹ для QUA. Среднее за годовой сезон значение частоты для GEM равно 0,347 год⁻¹, для QUA – 0,196 год⁻¹.

Аппроксимации выполнены полиномами третьей степени.

Для GEM уравнение линии тренда $y = -0,0017x^3 + 0,0309x^2 - 0,1098x + 0,2619$ (величина достоверности $R^2 = 0,7533$). Для QUA уравнение аппроксимации $y = 0,0003x^3 - 0,0133x^2 + 0,1328x - 0,0968$ ($R^2 = 0,5457$). Аппроксимация полиномами второй степени снижает величину достоверности вдвое для GEM и на 20% для QUA.

2.3 Аномалии по годам за период исследования

Число аномалий ZHR по годам представлено на рисунке 8.

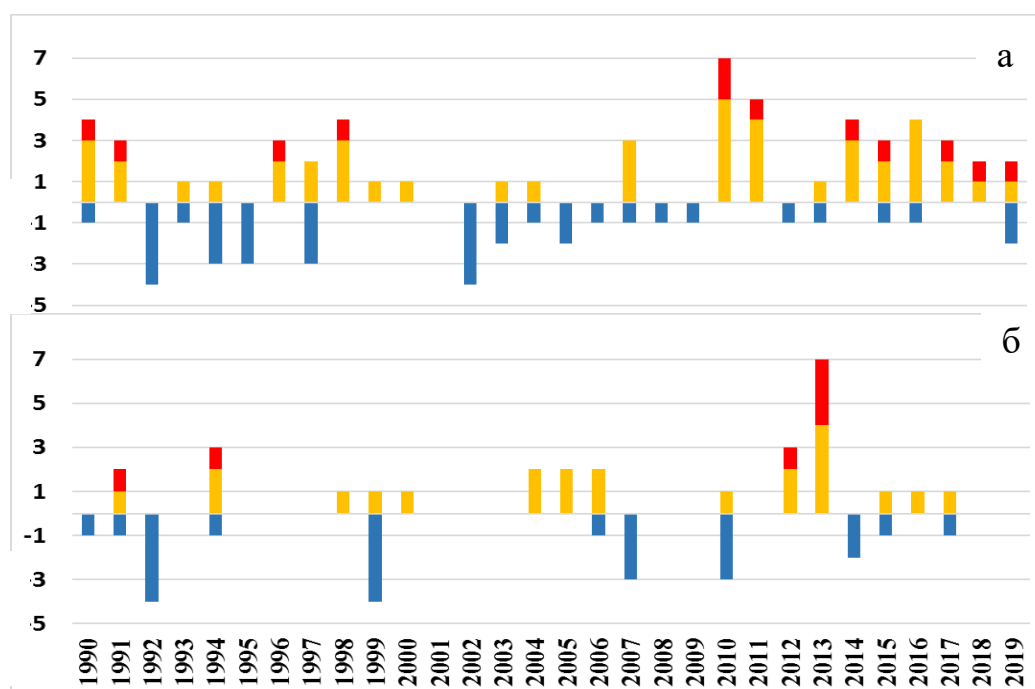


Рис. 8. Число аномалий в год зенитных часовых чисел метеорных потоков Гемениды (а) и Квадрантиды (б) (двунаправленная ось) — (+2σ)-критерий — (+σ)-критерий — (-σ)-критерий

Аномалии по годам распределены достаточно равномерно для потока GEM и крайне неровно для QUA. Обусловлено это тем фактором, что, во-первых, данные за некоторые годы отсутствуют в базе значений зенитных часовых чисел ММО (2001-2002) или, во-вторых, их крайне мало.

В 1992-1997 гг для потока GEM фиксировалось ежегодно 2-4 случая отрицательных аномалий а в 2002-2009 – от 1 до 4 таких случаев. Малое количество аномалий или их полное отсутствие было с 1999 по 2009 год (кроме 2007).

Для потока QUA в период 1995-2011 гг (на протяжении 16 лет) не фиксировались очень крупные аномалии. Зато за 2012-2013 гг зафиксированы 4 из 6 +2 σ -аномалии.

На рисунке 9 представлен график частоты зенитных часовых чисел метеорных потоков в 1990-2019 гг и их аппроксимации.

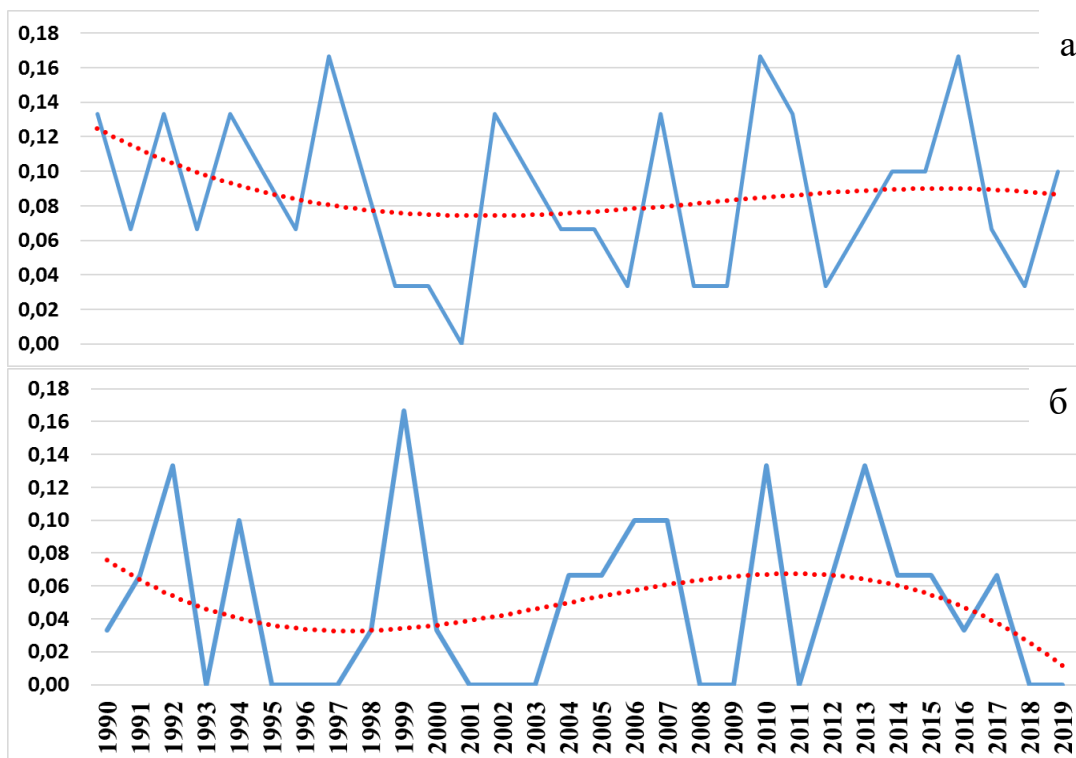


Рис. 9. Частота (день⁻¹) аномалий зенитных часовых чисел метеорных потоков Гемениды (а) и Квадрантиды (б) и их аппроксимации.

При всей визуальной несхожести хода частот в 1990-2019 годах они имеют ряд одинаковых характеристик. Проверка критерием Стьюдента показала, что ряды однородны между собой ($p < 0.05$). Линейные тренды для обоих рядов убывающие с коэффициентами регрессии $-0,0004$ и $-0,0003$. Кубические аппроксимации (рис.9) имеют одинаковый вид и схожие уравнения практически с высокой степенью достоверности:

$$\text{GEM} - y = -1E-05x^3 + 0,0007x^2 - 0,0116x + 0,1359, R^2 = 0,0754;$$

$$\text{QUA} - y = -3E-05x^3 + 0,0013x^2 - 0,0158x + 0,0905, R^2 = 0,0894.$$

Надо отметить, что возможное снижение числа выбросов можно объяснить двумя факторами: улучшение технического оснащения наблюдателей и, соответственно, более точные данные о зенитных числах исключают случайные аномалии. Второй фактор обусловлен некоторым снижением общего количества наблюдателей – возможно, имеется некоторый спад интереса к наблюдению за потоками Гемениды и Квадрантиды. Меньшее количество наблюдателей приводит к увеличению СКО и, соответственно, раздвигает границы аномальностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ряды часовых зенитных чисел метеорных потоков Гемениды и Квадрантиды в 1989-2019 годах состоят из трех однородных между собой частей: предварительного этапа, всплеска и затухания. Для потока Квадрантиды характерен постпотоковый этап, когда отмечаются незначительные единичные значения ZHR.

Максимумы потоков достигаются 14 декабря (GEM) и 3 января (QUA). Наибольшее зафиксированное число метеоров в час – 215 в 2015 году (GEM), 167 в 2013 году (QUA). Медианное значение максимальных наблюдаемых ZHR в дни максимумов составляет 138 для GEM и 66 для QUA.

Этап всплеска у GEM проходит значительно быстрее, чем у QUA. Медленнее проходя этап всплеска, QUA быстрее проходят этап затухания.

На основе выбранного критерия проведен анализ частоты проявления аномальностей в рядах часовых зенитных чисел в среднем за сезонный ход, выявлена частота появления двусторонних выбросов. Наибольшая частота аномалий совпадает с периодом максимумов рядов зенитных чисел потоков. Это можно обосновать большим количеством наблюдателей, которые могут давать данные наблюдений с большим разбросом.

При анализе частоты выбросов по годам, определено, что на протяжении всего периода исследования в 1990-2019 годы частоты имеют одинаковый характер: диапазон до $0,18 \text{ день}^{-1}$, убывающие линейные тренды с коэффициентами $-0,0003$ и $-0,0004$, однородные кубические аппроксимации.

Некоторые выявленные особенности метеорных потоков не указаны в описаниях в астрономической литературе, что дает основания утверждать о получении уникальных новых знаний о потоках Гемениды и Квадрантиды.

Полученные результаты позволяют представить достаточно полную картину сезонного хода метеорных потоков, создать их статистическую модель, выявить особенности в рядах часовых зенитных чисел. Данные можно использовать для популяризации астрономических знаний как среди начинающих интересоваться наукой школьников, так и среди продвинутых исследователей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ММО, «Результаты наблюдений» [Интернет-источник]. Доступно: [https://www.imo.net/members/imo_live_shower?shower=.](https://www.imo.net/members/imo_live_shower?shower=) [Дата обращения: 9 10 2020].
2. Корольюк В. С., Портенко Н. И., Скороход А. В., Турбин А. Ф., Справочник по теории вероятностей и математической статистике, Москва, Наука, 1985.
3. «АСТРОНЕТ» [Интернет-источник]. Доступно: <http://www.astronet.ru/db/msg>. [Дата обращения: 9 9 2020].
4. «В космосе. Метеоры и метеориты. Гемениды» [Интернет-источник]. Доступно: <https://v-kosmose.com/meteoryi-i-meteorityi/gemenidy/>. [Дата обращения: 7 10 2020].
5. «В космосе. Метеориты. Квадрантиды» [Интернет-источник]. Доступно: <https://v-kosmose.com/meteoryi-i-meteorityi/kvadrantidy/>. [Дата обращения: 7 10 2020].

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Уравнения аппроксимации этапов метеорных потоков

	Этап	GEM	Кв
Уравнение аппроксимации наибольших ZHR *	I	$y = 1,5x - 65685$ $R^2 = 0,2523$	$y = 2x - 87638$ $R^2 = 0,1299$
	I - II	$y = 3,9359x^2 - \dots^{**}$ $R^2 = 0,9571$	$y = 8,5952x^2 - \dots$ $R^2 = 0,8979$
	II	$y = 52,9x - \dots$ $R^2 = 0,9691$	$y = 75x - \dots$ $R^2 = 0,9721$
	II - III	$y = -14,679x^2 + \dots$ $R^2 = 0,7328$	$y = -13,167x^2 + \dots$ $R^2 = 0,7422$
	III	$y = 6x^2 - \dots$ $R^2 = 0,9264$	$y = -40,7x + \dots$ $R^2 = 0,9352$
	III - IV	-	$y = 4,994x^2 - \dots$ $R^2 = 0,964$
	IV	-	$y = -x + \dots$ $R^2 = 0,8333$
Уравнение аппроксимации Z^{\max}	I	$y = 1,065x - \dots$ $R^2 = 0,568$	$y = 0,165x - \dots$ $R^2 = 0,0046$
	I - II	$y = 2,6081x^2 - \dots$ $R^2 = 0,9478$	$y = 3,4109x^2 - \dots$ $R^2 = 0,8285$
	II	$y = 36,544x - \dots$ $R^2 = 0,9497$	$y = 28,061x - \dots$ $R^2 = 0,8454$
	II - III	$y = -9,9063x^2 + \dots$ $R^2 = 0,7003$	$y = -4,7388x^2 + \dots$ $R^2 = 0,5752$
	III	$y = 6,3181x^2 - \dots$ $R^2 = 0,9432$	$y = -15,522x + \dots$ $R^2 = 0,7795$
	III - IV	-	$y = 1,9615x^2 - \dots$ $R^2 = 0,8918$
	IV	-	$y = -0,7667x + \dots$ $R^2 = 0,9888$
Уравнение аппроксимации Z^{\min}	I	$y = 0,7266x - \dots$ $R^2 = 0,8795$	$y = 0,7008x - \dots$ $R^2 = 0,4751$
	I - II	$y = 0,8991x^2 - \dots$ $R^2 = 0,9402$	$y = 1,2377x^2 - \dots$ $R^2 = 0,8891$
	II	$y = 13,919x - \dots$ $R^2 = 0,9726$	$y = 10,848x - \dots$ $R^2 = 0,8861$
	II - III	$y = -3,3292x^2 + \dots$ $R^2 = 0,6033$	$y = -2,8157x^2 + \dots$ $R^2 = 0,6024$
	III	$y = 0,5648x^2 + \dots$ $R^2 = 0,9015$	$y = -11,942x + \dots$ $R^2 = 0,7949$
	III - IV	-	$y = 1,532x^2 - \dots$ $R^2 = 0,8543$
	IV	-	$y = -0,3167x + 13884$ $R^2 = 0,2971$

Приложение 1. (продолжение)

Уравнение аппроксимации наименьших ZHR	I	$y = 0,0714x - \dots$ $R^2 = 0,1667$	$y = 0,3x - \dots$ $R^2 = 0,0947$
	I - II	$y = 0,1119x^2 - \dots$ $R^2 = 0,4789$	$y = 0,2262x^2 - \dots$ $R^2 = 0,8282$
	II	$y = 0,7x - \dots$ $R^2 = 0,0264$	$y = 2x - \dots$ $R^2 = 0,9231$
	II - III	$y = -0,5119x^2 + \dots$ $R^2 = 0,3866$	$y = -0,4167x^2 + \dots$ $R^2 = 0,8407$
	III	$y = -0,8x + \dots$ $R^2 = 0,8$	$y = -1,4x + \dots$ $R^2 = 0,98$
	III - IV	-	$y = -0,631x + \dots$ $R^2 = 0,801$
	IV	-	$y = -0,3x + \dots$ $R^2 = 0,6$
* R^2 - величина достоверности			
** - вторые и последующие коэффициенты роли не играют, ими можно пренебречь			